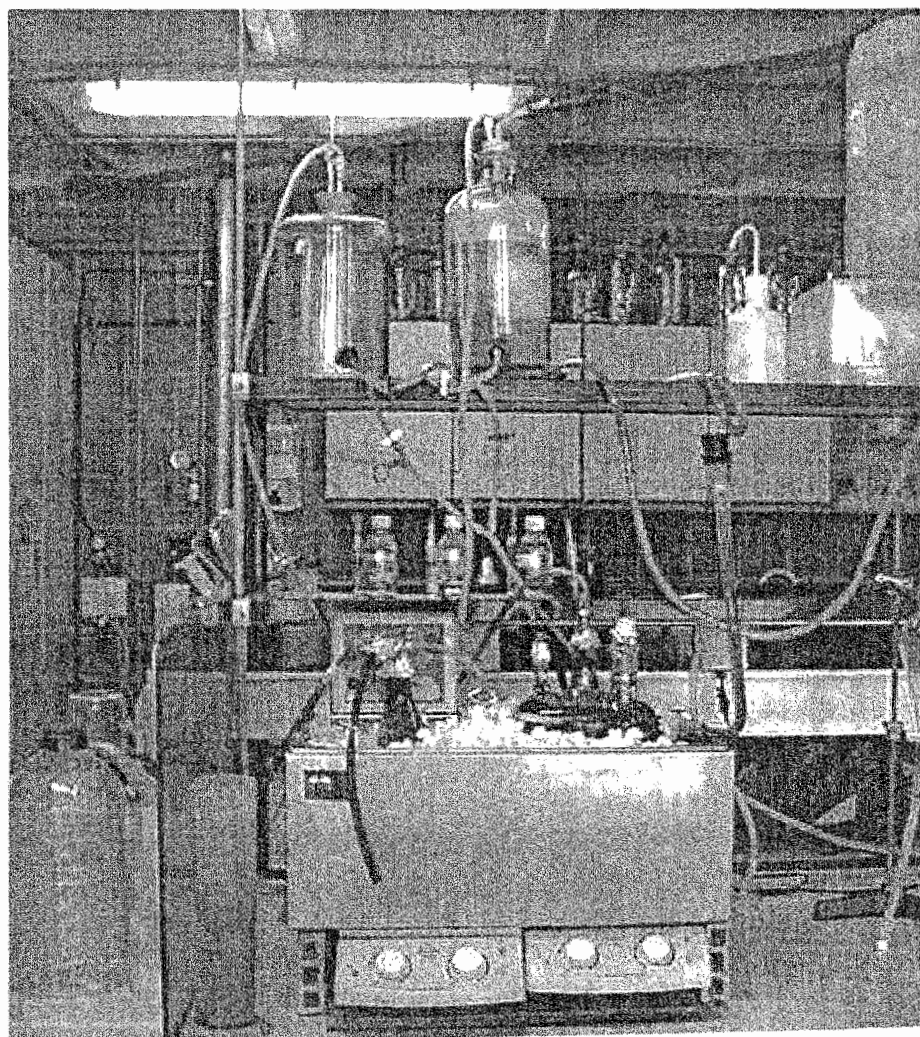


Este artículo aborda la comparación entre diferentes tecnologías anaerobias de tratamiento de vinazas de destilerías vinicas en el rango termofílico de temperatura (55°C). La comparación es efectuada entre las tecnologías que implican biomasa en suspensión, en fase única y en fases separadas, y aquellas con biomasa adherida a un soporte, reactores de lecho fijo y lecho fluidizado. Asimismo, se efectúa la comparación en estas últimas entre dos tipos de soportes comerciales, un soporte no poroso (FLOCOR) y otro poroso (SIRANTM). Los resultados muestran las ventajas de la utilización de los reactores con biomasa adherida tanto en su rendimiento depurativo (>95%) como en la disminución del Tiempo Hidráulico de Retención del sistema para velocidades de carga orgánica elevadas, del orden de 32 gDQO/L/d.

Comparación de tecnologías anaerobias para el tratamiento de **vinazas de vino**



José L. GARCÍA MORALES

Doctor Ingeniero Químico

Profesor Asociado de Tecnologías de Medio Ambiente

Montserrat PÉREZ GARCÍA

Doctora Ingeniera Química

Profesora Titular de Tecnologías de Medio Ambiente

Luis I. ROMERO GARCÍA

Doctor en Ciencias Químicas

Profesor Titular de Ingeniería Química

Diego SALES MÁRQUEZ

Doctor en Ciencias Químicas

Catedrático de Tecnologías de Medio Ambiente

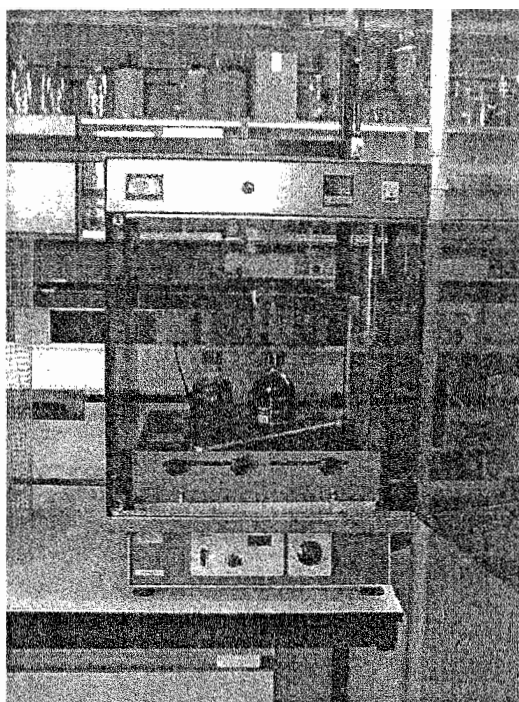
*Departamento de Ingeniería Química, Tecnología de Alimentos y Tecnologías del Medio Ambiente
Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales (CASEM)*

La producción de alcohol víni- co genera ocho veces el volumen de alcohol destilado en residuos con una alta carga orgánica denominados vinazas. Este tipo de vertidos tiene un carácter ácido (pH 3,5-4) y un alto contenido en materia orgánica (20-25 g/L DQO) lo que hace necesario su tratamiento previo al vertido. Este tipo de efluentes agroalimentarios se generan en un gran volumen en nuestro país y su elevada carga orgánica les confiere un altísimo poder contaminante.

Las vinazas se suelen clasificar en función de la naturaleza de la materia prima destilada (vinos, orujos fermentados y lías o heces caldosas) y del sistema de destilación utilizado en cada caso (Sales, 1982; Valcarcel, 1985). Las características más relevantes de los distintos tipos de vinazas se recogen en la *tabla 1*.

Para su depuración la aplicación de diversos tratamientos físico-químicos a este tipo de efluentes no han demostrado ser una alternativa adecuada, mostrando tan solo utilidad como un acondicionamiento de algunos de ellos para un tratamiento biológico posterior (Valcarcel, 1985).

Las vinazas de vino contienen una elevada carga orgánica, en gran medida biodegradable, y todos los macro y micronutrientes necesarios para poder ser tratadas biológicamente. Las vinazas de lías y piquetas poseen mayor



carga orgánica y altos contenidos en sólidos en suspensión, pero tras un simple pretratamiento físico (centrifugación, filtración, etc.) se obtiene un efluente de características muy similares a las vinazas de vino y que, por tanto, es susceptible de ser tratado empleando las mismas técnicas (Valcarcel, 1985).

En el presente artículo se muestran los resultados de la aplicación de diversas tecnologías anaerobias a escala de laboratorio para el tratamiento de vinazas de destilerías vínicas en rango termofílico de temperatura (55 °C).

Tecnologías anaerobias para el tratamiento de vinazas

Analizando los diferentes tratamientos biológicos aplicables a vertidos con estas características, son susceptibles de utilización para su depuración tanto sistemas que impliquen a una microbiota aerobia como anaerobia. Entre ambos tipos de tratamientos se ha seleccionado el anaerobio, debido a que, además de alcanzar rendimientos en la eliminación de la carga orgánica del vertido superiores al 90%, las instalaciones de tratamiento tienen un menor coste de funcionamiento, ya que no conllevan gastos de aireación. Las plantas de tratamiento anaerobio, además, producen un excedente energético global del proceso debido a la generación de biogas, con un elevado contenido en metano, que puede ser aprovechado en la propia destilería.

Tecnologías con biomasa en suspensión

Los procesos biológicos anaerobios, por tanto, se han mostrado como la alternativa de tratamiento más adecuada para la depuración de este tipo de efluentes. Para este estudio se utilizaron reactores de laboratorio de tanque agitado, sin recirculación de sólidos y sin ningún sistema de retención de la biomasa. Las tecnologías susceptibles de ser utilizadas implican la posibilidad de utilización de reactores de *una sola fase* o de *fases separadas*. La *tabla 2* recoge algunos resultados obtenidos para este tipo de tecnologías tanto en rango mesofílico (óptimo a 35 °C) como termofílico (óptimo a 55 °C). Los resultados muestran un menor Tiempo Hidráulico de Retención (THR) en los sistemas termofílicos, 4 días, debido a la mayor velocidad específica de crecimiento de la microbiota termófila en general. El excedente energético obtenido, debido al biogas generado, posibilitaría la operación a esta temperatura sin que suponga un coste adicional del proceso.

PROCESO	DESTILADOS		RECTIFICADOS PRESIÓN REDUCIDA		
	SISTEMA ABIERTO	SISTEMA CERRADO			
MATERIA PRIMA	VINO		LÍAS	PIQUETAS	HECES CALDOSAS
PH	3,38	3,39	3,28	4,00	5,00
DQO (g O ₂ /L)	21,1	17,0	181,0	21,3	6,5
DBO5 (g O ₂ /L)	14,6	12,0	49,3	10,3	3,4
Materia en Suspensión (mg/l.)	140	120	180	560	26
Polifenoles (mg ác. Gálico/L)	500	500	580	890	40

Tabla 1. Características medias de los vertidos procedentes de destilerías vínicas.

TIPO DE TECNOLOGÍA	Rango T0	Alimentación	THR _{óptimo} (d)
MEZCLA COMPLETA (Monoetapa)	Mesofílico	Semicontinuo	6
MEZCLA COMPLETA (Monoetapa)	Termofílico	Semicontinuo	4
MEZCLA COMPLETA (Dos etapas)	Termofílico	Semicontinuo	2 (1 ac.)
LECHO FIJO (FLOCOR)	Termofílico	Semicontinuo	1,5
LECHO FIJO (FLOCOR)	Termofílico	Continuo	1
LECHO FIJO (SIRANJ™)	Termofílico	Continuo	0,7
LECHO FLUIDIZADO (SIRANJ™)	Termofílico	Continuo	0,5

Tabla 2. Tipo de tecnología utilizada, rango de temperatura de crecimiento de los microorganismos, THR óptimo para un funcionamiento estable y modo de operación.

Las plantas de tratamiento anaerobio con biomasa suspendida han tenido como uno de sus principales inconvenientes de operación su inestabilidad, por este motivo algunos autores propusieron una modificación del proceso convencional, con una sola fase, en la que se incluía una separación de las fases acidogénica y metanogénica en dos reactores que se conectan en serie. Los estudios realizados con *separación de fases* demostraron que ésta no representaba una disminución importante del tamaño de la instalación necesaria para la depuración de un caudal de vertido dado, aunque representaba una considerable estabilización del sistema con respecto al convencional en una sola fase. Las condiciones óptimas de funcionamiento se situaban para el conjunto de ambos reactores (reactores de tanque agitado, operando en rango termofílico y sin recirculación de sólidos) entorno a un THR de 2 días. Cabe destacar, que el primer reactor de la serie, reactor que opera con la microbiota acidogénica, puede soportar THR próximos a 1 día. El principal inconveniente de este tipo de tecnología con separación de fases radica en la duplicación de parte del equipamiento necesario, aspecto que hace que, desde un punto de vista económico, la utilización de este proceso sea puesta en cuestión.

Tecnologías con retención de la biomasa

Uno de los campos de desarrollo de las tecnologías de tratamiento biológico ha sido la separación de los conceptos del tiem-

po de retención hidráulico y el tiempo de retención de sólidos (biomasa) con la introducción de sistemas para la retención interna o la recirculación de la biomasa, es lo que se han denominado *reactores avanzados*. Dentro de este tipo de reactores, uno de los procesos que ha adquirido un mayor auge en la línea de tratamiento de vertidos con una alta carga orgánica ha sido la utilización de filtros biológicos. En este tipo de reactores se aprovecha la capacidad de adhesión que tienen los microorganismos sobre cualquier superficie, favoreciendo este fenómeno con la introducción de un material soporte en el interior del reactor. Estos sistemas presentan toda una serie de

ventajas e inconvenientes. Entre los inconvenientes destacan los que vienen derivados de la acumulación de los microorganismos y de sus características de filtro con sus posibles problemas de colmatación. En contraposición, la principal de sus ventajas radica en que, al estar los microorganismos adheridos a un soporte, la biomasa no es eliminada del sistema en una fracción similar a su concentración en el reactor y, por tanto, desaparece el límite marcado en la disminución del volumen de la instalación asociado al *lavado de la población bacteriana*.

Los estudios desarrollados a escala de laboratorio para la caracterización del proceso mediante la utilización de sistemas de tipo *filtro anaerobio* muestran la posibilidad de trabajar en reactores monoetapa, con una configuración similar a la recogida en la figura 1.

El reactor de laboratorio se puede considerar como un tanque cilíndrico vertical (25 cm de longitud y 10 cm de diámetro interno) con un volumen total de 2,4 l y un volumen útil de 2 l. La homogeneización y la mezcla del sistema se consiguen por recirculación del efluente.

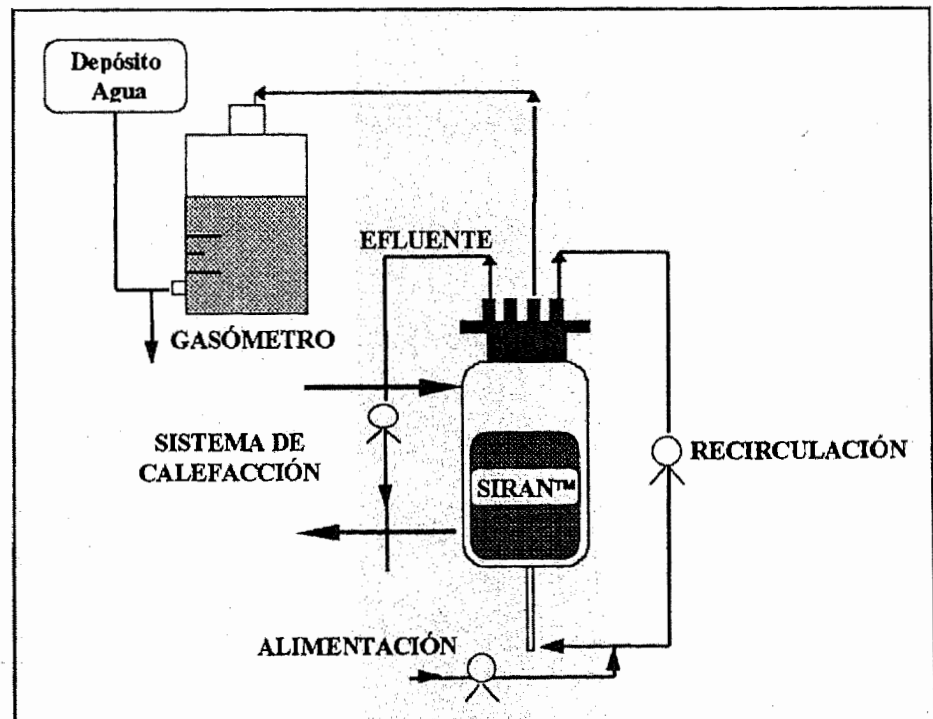


Figura 1. Esquema del reactor de lecho fijo.

CARACTERÍSTICAS	FLOCOR	SIRAN™
Densidad real (g/L)	1161,4	1832,0
Densidad aparente (g/L)	73,0	499,3
Porosidad (%)	93,71	55-60
Superficie específica (m ² /m ³)	450,0	87000,0
Altura (cm)	1,6	-
Diámetro (cm)	1,6	0,15

Tabla 3. Características comparativas de los soportes utilizados en los reactores avanzados.

El material componente del soporte donde se adhieren los microorganismos va a condicionar algunos aspectos de la operación de este tipo de sistemas. En los trabajos desarrollados se han realizado estudios con dos soportes tipo atendiendo a sus características superficiales, *tabla 3*:

- * soporte no poroso de plástico coarrugado en forma de anillos (FLOCOR), y
- * soporte poroso comercial de vidrio sinterizado en forma de perlas (SIRAN™).

En reactores de filtro anaerobio, utilizando como soporte Floccor, se han alcanzado tiempos de retención en el proceso de retención en el proceso del orden de 1,5 días (*tabla 2*), utilizando un régimen de alimentación en semicontinuo (una dosis diaria) sin que se produzca desestabilización del mismo. Los resultados obtenidos mostraron que el sistema era capaz de conseguir porcentajes de eliminación de la materia orgánica superiores al 90% para toda la gama de tiempos hidráulicos de retención utilizados (desde 10 hasta 1,5 días). En cambio operando en régimen continuo, ensayando diferentes variables de operación, el sistema permite reducir el tiempo de retención a valores ligeramente inferiores a 1 día, manteniendo altas eficacias depurativas (Nebot, 1992). Otros estudios abordados con este tipo de soporte han evaluado el efecto que la recirculación aplicada al sistema tenía sobre el modelo de flujo en el interior del reactor, la influencia que la disposición del soporte tiene sobre las características de la puesta en marcha de los reactores así como el arranque de unidades que había

permanecido largo tiempo inactivas (Nebot, 1992, Pérez, 1995, García-Morales, 1997). Algunos de los estos resultados se muestran en la *tabla 4*.

La operación con reactores tipo lecho fluidizado utilizando un

THR*	VCO	%DQO _e	VCH ₁
D	gDQO/L/d		L/L/d
2,50	6,29	75,55	1,45
1,28	12,32	61,42	1,96
1,01	15,66	55,78	2,85
0,87	18,46	52,14	3,28
0,83	19,04	49,33	3,13
0,82	19,56	47,89	3,55

* Referidas a volumen de lecho, 2L y DQO₀ = 16 g/L

Tabla 4. Evolución del rendimiento depurativo y de producción de metano del reactor de lecho fijo (Floccor), con la velocidad de carga orgánica (Pérez, 1995).

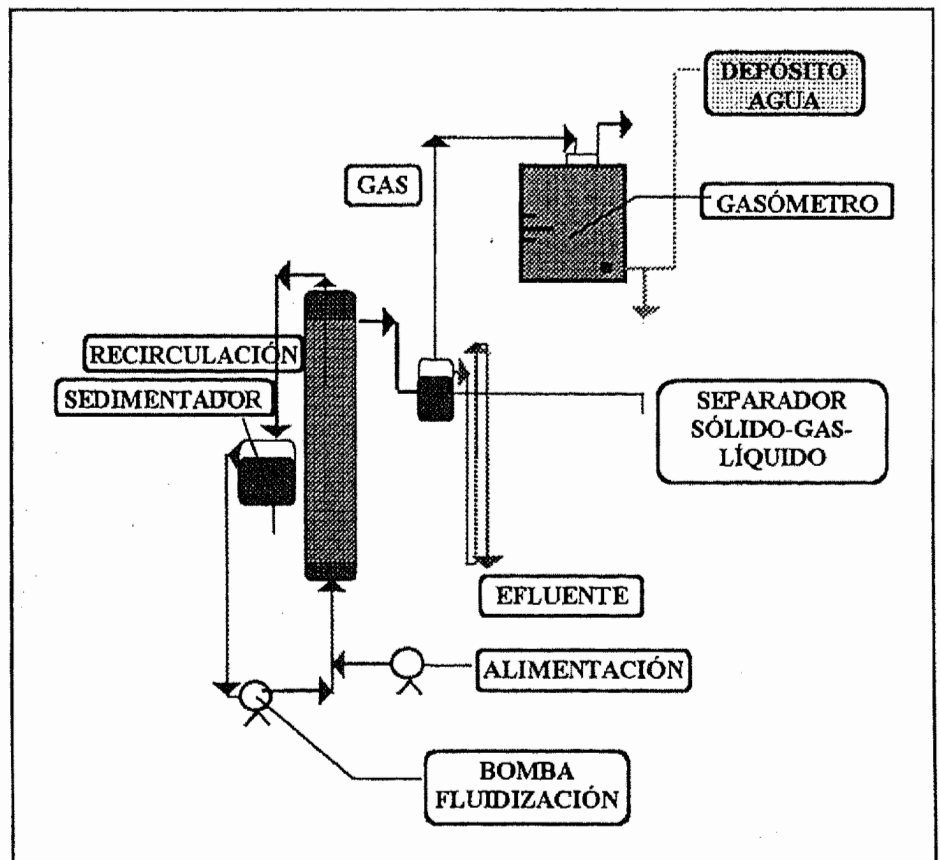


Figura 2. Esquema del reactor de lecho fluidizado.

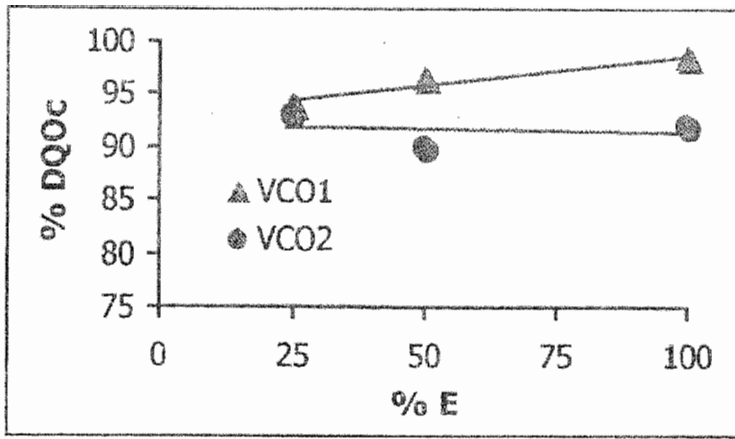


Figura 3. Evolución del rendimiento depurativo con el porcentaje de expansión del lecho (%E) para dos velocidades de carga orgánica ($VCO_1 = 13,25$ y $VCO_2 = 29,87$ gDQO/L/d)

soporte poroso comercial de vidrio sinterizado (Siran™), se realizó mediante un reactor como el que se presenta en la figura 2.

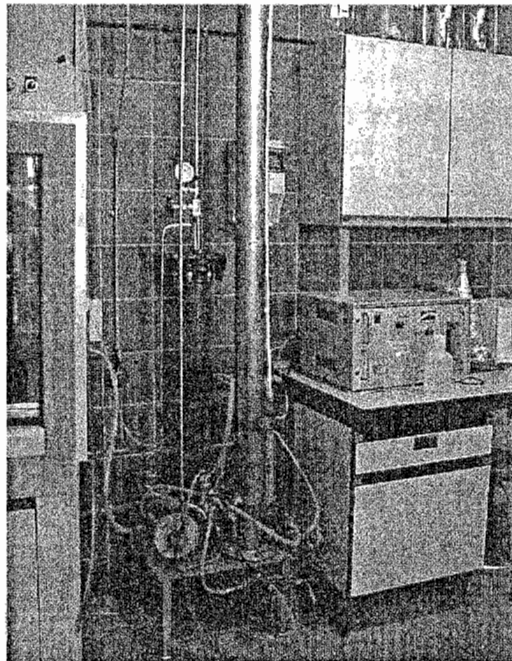
El reactor de laboratorio se puede considerar como un cuerpo cilíndrico vertical (1,70 m de longitud y 2,55 cm de diámetro interno) con un volumen total de 870 cm³ y un volumen útil de 666 cm³. La fluidización del sistema se consigue por recirculación del efluente.

Los resultados muestran que la operación con reactores de lecho fluidizado admite velocidades de carga orgánica superiores a las admitidas por los reactores de lecho fijo, alcanzando valores superiores a 32 gDQO/L/d. Los reactores de lecho fluidizado, con un modelo de contacto de fases que favorece la transferencia de materia en toda la extensión activa del reactor, permite una mayor concentración de biomasa activa adherida al soporte. Un incremento en el porcentaje de expansión del lecho supone (del 25% al 100%), en general, una mejora en el rendimiento depurativo del sistema llegándose incluso a rendimientos superiores al 98% de eliminación según se observa en la figura 3, reduciendo los valores residuales de materia orgánica por debajo del 3%, frente al 20-30% de la operación con las diversas configuraciones de lecho fijo (García-Morales, 1997).

Conclusiones

Los reactores de tipo avanzado (lecho fijo y lecho fluidizado) presentan, en general, mejores rendimientos tanto en la eliminación de carga orgánica como en el volumen de biogas generado.

Los reactores de lecho fijo, con soporte plástico no poroso tipo Floccor, son aptos para vertidos fácilmente biodegradables, ya que el tipo de contacto establecido en el sistema no permite reducir la DQO remanente de un carácter menos degradable. En cambio, el tipo de contacto de los reactores de lecho fluidizado (soporte poroso) si permite la reducción de esa fracción y mayores rendimientos depurativos.



Las características físico-químicas que presenta el Floccor lo hacen muy adecuado para la operación en lecho fijo, la elevada porosidad del lecho paliaría los posibles fenómenos de colmatación.

El Siran™, debido a sus características físico-químicas es un soporte muy adecuado para la operación con reactores de lecho fluidizado. En contraposición, los costes de operación y del soporte utilizado son elevados.

Nomenclatura

- DQO: Demanda Química de Oxígeno (mgO₂/L).
- DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno (mgO₂/L).
- THR: Tiempo Hidráulico de Retención (d).
- VCO: Velocidad de Carga Orgánica (gDQO/L/d).
- %DQO_c: Rendimiento depurativo, porcentaje de DQO consumida.
- DQO₀: Carga orgánica inicial (gO₂/L).
- VCH₄: Rendimiento de producción de metano (L/L/d).

Referencias

- García-Morales, J.L. 1997. *Dinámica de colonización de la biopelícula bacteriana en reactores anaerobios termofílicos*. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz.
- Nebot, E. 1992. *Caracterización de los Principales Parámetros de Sistemas Filtro Anaerobio: Aplicación al diseño*. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz.
- Pérez, M. 1995. *Utilización de Bio-reactores Avanzados en la Depuración Anaerobia de Vertidos de Alta Carga Orgánica*. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz.
- Sales, D. ; Valcarcel, M.J.; Martínez de la Ossa, E. 1982. *Determinación de la carga contaminante y naturaleza de los vertidos de destilerías de alcohol de vino y alcohol vínic*. Química e Industria 28 (10): 701-706.
- Valcarcel, M. J. 1985. *Depuración de Vertidos de Destilerías Vinicas*. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz.